

L'astronomie dans le monde

Venus Express : une nouvelle vision de la météorologie vénusienne

Communiqué de presse ULg

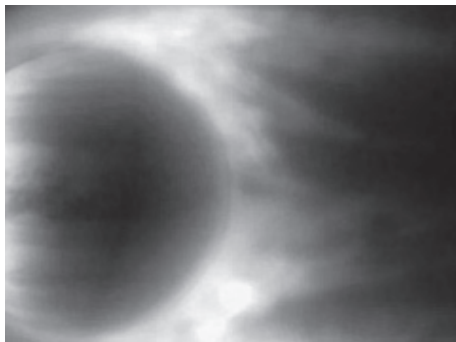
Première mission européenne vers Vénus, Venus Express a été lancée par l'ESA en novembre 2005 depuis le cosmodrome de Baïkonour. Née dans le sillage de la mission Mars Express, Venus Express contribue à étudier l'atmosphère, le plasma et la surface de Vénus. C'est la première mission à visiter cette planète depuis le programme Magellan de la NASA en 1994. La sonde est arrivée dans l'orbite de Vénus en avril 2006. Les planétologues européens associés à la mission sont aujourd'hui en mesure de livrer de nouvelles observations sur Vénus, la 'planète-sœur' de la Terre. Leurs résultats paraissent cette semaine dans le magazine *Nature* à travers une série spéciale de neuf articles. Le professeur Jean-Claude Gérard, directeur du Laboratoire de Physique Atmosphérique et Planétaire de l'Université de Liège (Institut d'Astrophysique et de Géophysique) et Supporting Investigator de la mission Venus Express, est coauteur de deux de ces articles,

Vénus, comme Mars et la Terre, baigne dans le vent solaire.
(Vue d'artiste © ESA)

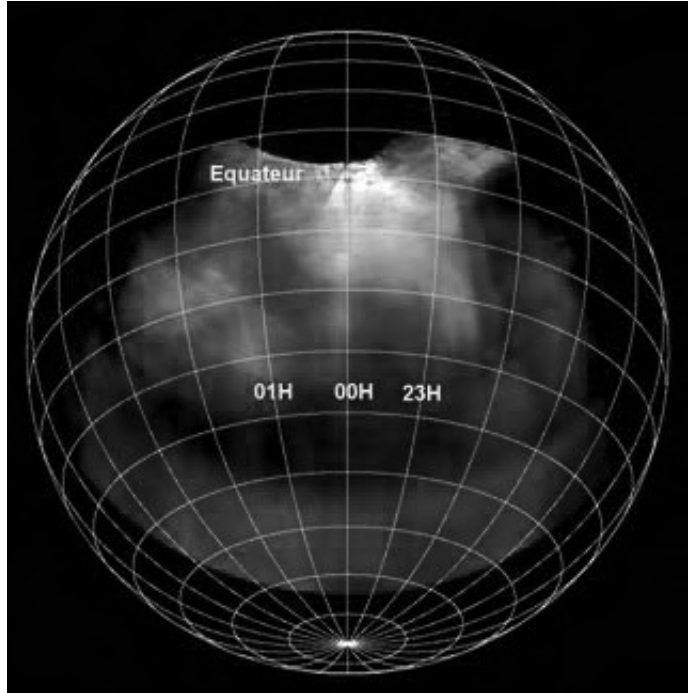
qui contribuent à mieux comprendre la météorologie de la planète.

Pourquoi Vénus et la Terre ont-elles à ce point divergé ? De tailles et de masses proches, situées à des distances du soleil plus ou moins équivalentes, tout les préparait, il y a plus de quatre milliards d'année, à suivre une destinée commune. Aujourd'hui, la composition chimique de l'atmosphère de Vénus, saturée en CO₂, provoque un effet de serre intense. Nocivité des gaz, température élevée de 500°C à sa surface, couche épaisse et opaque de nuages, l'atmosphère de Vénus est particulièrement inhospitalière.

« Les dernières observations autour de l'atmosphère de Vénus remontent à 25 ans, avec la mission Pioneer de la NASA »,



Cartographie de l'émission infrarouge atmosphérique de l'oxygène sur la face nocturne de Vénus. On note l'intensification dans les régions équatoriales proches de minuit (00H), indiquant une concentration des atomes d'oxygène dans cette zone. Image réalisée par le Laboratoire de Physique Atmosphérique et Planétaire de l'ULg (© ULg-LPAP).



explique Jean-Claude Gérard, qui était alors « guest investigator » pour l'agence américaine et qui, avec la mission Venus Express, a voulu profiter d'une nouvelle occasion d'analyser les émissions atmosphériques vénusiennes. « Mais l'instrumentation est désormais plus performante, ce qui nous permet de mieux appréhender les phénomènes et peut-être de mieux comprendre les risques qu'encourt l'atmosphère terrestre. »

Au moyen des données fournies par VIRTIS (spectromètre imageur dans l'infrarouge) et SPICAV (instrument de spectroscopie dans l'ultraviolet, développé avec le support de la Politique scientifique fédérale belge), Jean-Claude Gérard et son équipe ont pu étudier les émissions atmosphériques vénusiennes avec une précision inégalée jusqu'à présent.

Ces émissions se manifestent sur la face nocturne de Vénus sous la forme de zones lumineuses dont l'origine est connue depuis plus de 20 ans : sous l'influence du rayonnement UV du soleil, les molécules de CO_2 de l'atmosphère vénusienne sont cassées. Les atomes d'oxygène ainsi produits sont trans-

portés par les vents vers la face nocturne de la planète où ils se recombinent entre eux. C'est la désexcitation des molécules d'oxygène qui provoque cette luminescence observable dans l'infrarouge. Une aubaine pour les planétologues qui veulent « voir » les déplacements des vents et leur force au-dessus et en dessous du manteau opaque de nuages. Mais avec VIRTIS, les scientifiques peuvent aller beaucoup plus loin encore dans leurs observations. Imageur multi-spectral, l'instrument permet en effet de scruter les émissions lumineuses à des altitudes différentes de l'atmosphère vénusienne (entre 0 et 110 km). « Nous pouvons ainsi proposer une cartographie plus précise du régime des vents, région par région », explique Jean-Claude Gérard. Avec l'instrument SPICAV, son équipe a pu également observer le rayonnement ultraviolet provoqué par les molécules d'oxyde nitrique (NO), présentes à une altitude plus élevée (115 km) dans des poches d'air plus chaud.

Combinées, les observations réalisées au moyen de VIRTIS et de SPICAV permettent à l'équipe de l'ULg de disposer d'un outil de télédétection capable de mesurer le régime des vents à des altitudes et à des latitudes différentes. À terme, c'est un nouveau modèle d'atmosphère de Vénus que les chercheurs liégeois s'approprient à proposer

Mercuré et la sonde Messenger

Lors de sa conférence de janvier 2007, Gaëtan Gréco faisait pour nous le point des connaissances sur la planète Mercure à partir d'observations déjà anciennes, celles de la mission Mariner 10 de la NASA en 1974. En insistant sur l'intérêt de l'étude de cette planète quelque peu délaissée, il évoquait les espoirs liés à de nouvelles missions. Et voici que la sonde Messenger, lancée en 2004, effectue ce 14 janvier un premier survol de la planète qui sera suivi de deux autres en octobre 2008 et en septembre 2009, avant d'être placée en orbite en 2011. Quels sont les enjeux de ces nouveaux défis?

En 1974 Mariner 10 avait créé la surprise en détectant un champ magnétique autour de Mercure. Des observations ultérieures suggèrent la présence d'un noyau partiellement fondu. Un phénomène de dynamo pourrait donc être à l'origine du champ dipolaire mercurien qui ressemble en miniature au champ terrestre. Mais un problème se pose car le champ généré par des mouvements internes aurait dû être plus intense.

Contrairement à la Terre et Mercure, la Lune, Vénus et Mars ne montrent pas de champ global dipolaire. Il y a cependant des

champs locaux fossiles ancrés dans certains terrains de la Lune et de Mars.

Selon une étude récente, la faiblesse du champ magnétique de la petite planète Mercure, malgré l'effet dynamo d'un noyau partiellement liquide, serait due à l'interaction du vent solaire dans la magnétopause. Les calculs montrent que d'intenses courants électriques y créent un champ magnétique secondaire s'opposant au champ principal. Ces interactions avec le vent solaire expliquent d'ailleurs la dynamique des champs magnétiques de Mercure et de la Terre. Dans le cas de notre planète, le champ généré dans la magnétopause est trop éloigné pour affaiblir notablement le champ dipolaire.

Le champ magnétique de Mercure sera étudié en détail par la sonde Messenger lorsqu'elle se mettra en orbite autour de la planète mais, le 14 janvier, elle effectuera un premier survol rapproché qui malgré sa brièveté devrait fournir d'intéressantes informations.

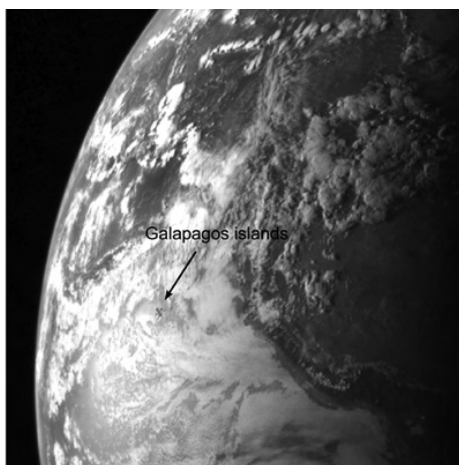
D'autres mystères entourent Mercure et seront examinés par Messenger, comme la densité élevée, la présence éventuelle de glace aux pôles, la composition de son exosphère. La cartographie doit aussi être complétée, puisque Mariner n'avait pu en photographier que 45 pour cent de la surface.

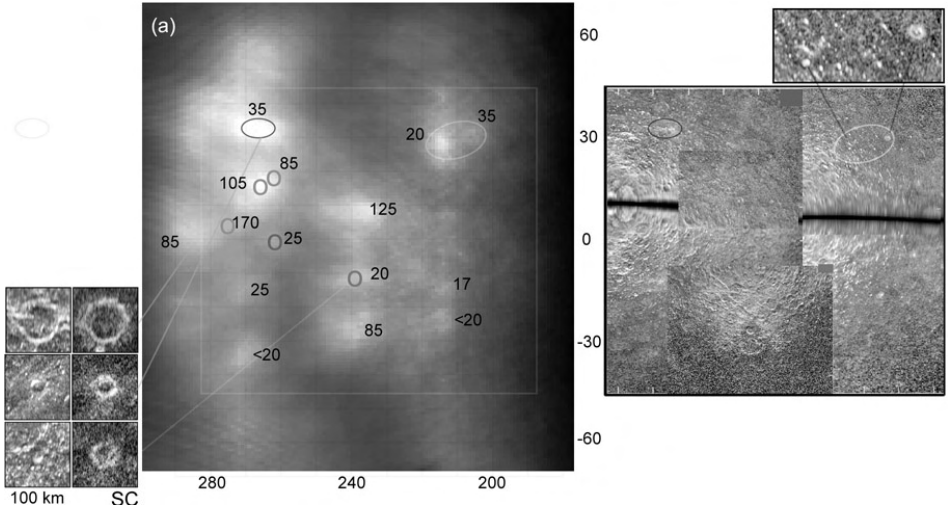
En prélude à ce survol, des photographies de Mercure montrant des zones non

La Terre vue par Messenger le 2 août 2005. La sonde effectue une série complexe de survols planétaires et de corrections de trajectoire avant d'atteindre sa cible finale. Pour des détails, voir le site http://ser.sese.asu.edu/MESSENGER_20050802/encounters.html

Vénus a déjà été survolée deux fois, et la Terre une fois. Ce n'est qu'à sa quatrième visite auprès de Mercure que le vaisseau spatial pourra s'insérer en orbite.

(© JHU/APL)





Le télescope SOAR de 4m10 a permis aux astronomes de résoudre sur Mercure des détails de 15 km. La carte résultante est comparée ici avec des données radar antérieures (© G. Cecil, University of North Carolina)

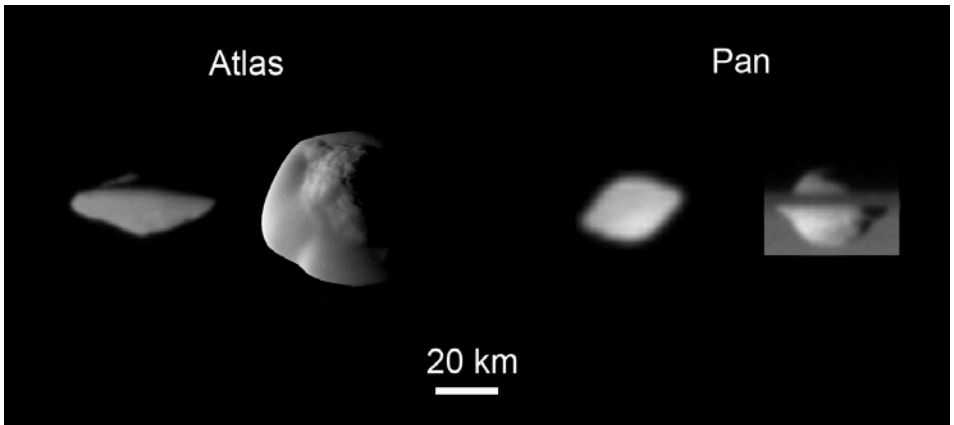
observées par Mariner 10 ont été prises depuis le sol avec le télescope SOAR de 4m10. La résolution est évidemment bien inférieure à celle que fournira Messenger, mais ces images permettent d'identifier des points brillants avec des cratères déjà repérés par ondes radar.

Satellites de Saturne

Les petits satellites de Saturne évoluant à la périphérie des anneaux ont dû se former par accréation de particules des anneaux sur des « graines » qui seraient des vestiges de l'événement ayant formé les anneaux.

Les lunes de Saturne Atlas et Pan vues par Cassini.

(© NASA/JPL/Space Science Institute)



Les nombreuses images obtenues pour 14 petites lunes ont permis d'estimer leur forme et leur taille, et dans certains cas leur masse et leur densité.

On a ainsi constaté que les lunes internes avaient une densité très faible, moitié de celle de l'eau, ce qui permettait de penser qu'elles s'étaient formées par accumulation de matière en provenance des anneaux. Le problème est que ces lunes se trouvent à l'intérieur, ou près des anneaux, et que dans cette zone il n'est pas possible pour de petites particules de s'agglutiner gravitationnellement.

La solution est d'imaginer que les particules se sont condensées sur un noyau pré-existant. On peut montrer qu'une « graine » de 10 km peut donner naissance à une lune de 30 km.

Matériaux prébiotiques sur Titan

La sonde Cassini a décelé des ions très lourds, chargés négativement, dans la très haute atmosphère de Titan. Leur masse est dix mille fois plus grande que celle de l'atome d'hydrogène. Ces molécules participent à la brume qui enveloppe le satellite. Elles doivent retomber sur le sol pour former une boue d'hydrocarbures – les tholins chers à Carl Sagan – qui seraient des sites privilégiés pour l'apparition de la vie.

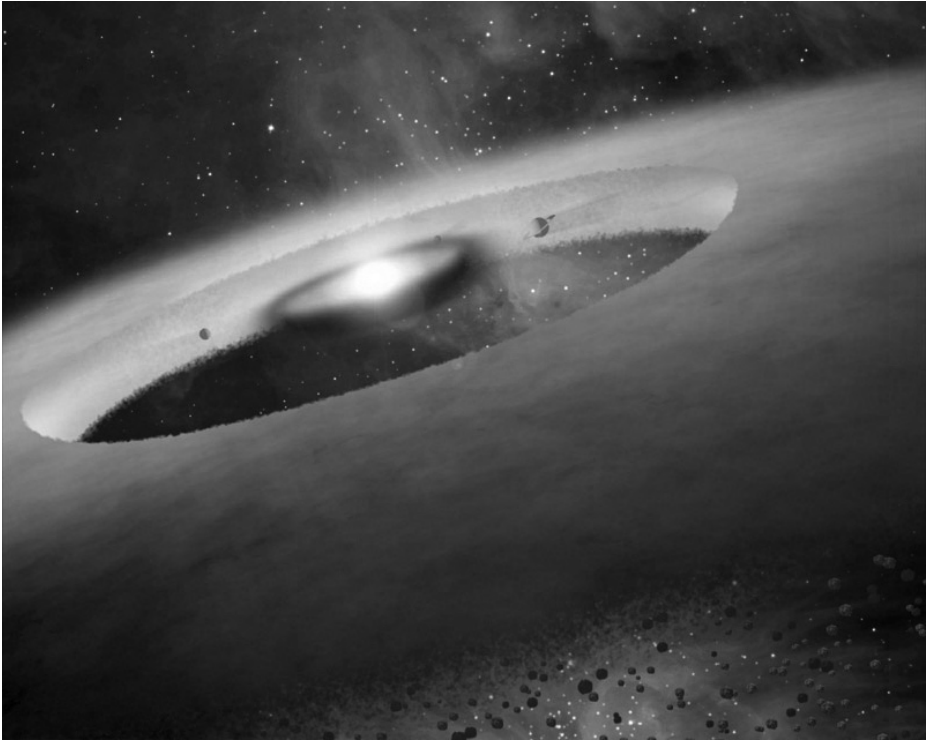
Jets X solaires

L'observatoire X Hinode a permis de démontrer l'importance d'une forme d'activité solaire, les jets X. Cette contribution – entre 10 et 25% - au vent solaire pourrait aider à expliquer les hautes températures de la couronne solaire. Il apparaît des centaines de ces jets chaque jour. Leur vitesse atteint trois millions de kilomètres par heure. On les connaît depuis la mission Skylab, dans les années 70, mais on n'avait jamais imaginé qu'ils fussent si fréquents.

Il semble que les jets émettent des ondes magnétiques, dites d'Alfvén, dans la haute atmosphère solaire. Ces ondes se propagent dans la couronne, où elles finissent par claquer comme des fouets, libérant toute leur énergie. Un autre mécanisme, chromosphérique celui-là, émet des ondes d'Alfvén vers la couronne. Les deux séries d'ondes pourraient suffire à chauffer la couronne aux températures qu'on lui connaît.

Des jets X émanent des zones actives indiquées sur cette image extraite d'une séquence obtenue par Hinode. Voir le site <http://solarb.msfc.nasa.gov/> (© NASA)





Vue d'artiste de planètes creusant un trou dans un disque circumstellaire épais.
(© NASA/JPL-Caltech/T. Pyle, SSC)

Systèmes planétaires jeunes

Les étoiles UX Tau A et LkCa 15 sont entourées de disques de poussières séparés en deux par un vide qui est peut-être dû à la présence de planètes. La surprise vient de l'âge des systèmes qui n'est que d'un million d'années. Les astronomes doivent sans doute réviser leurs idées sur la formation des planètes.

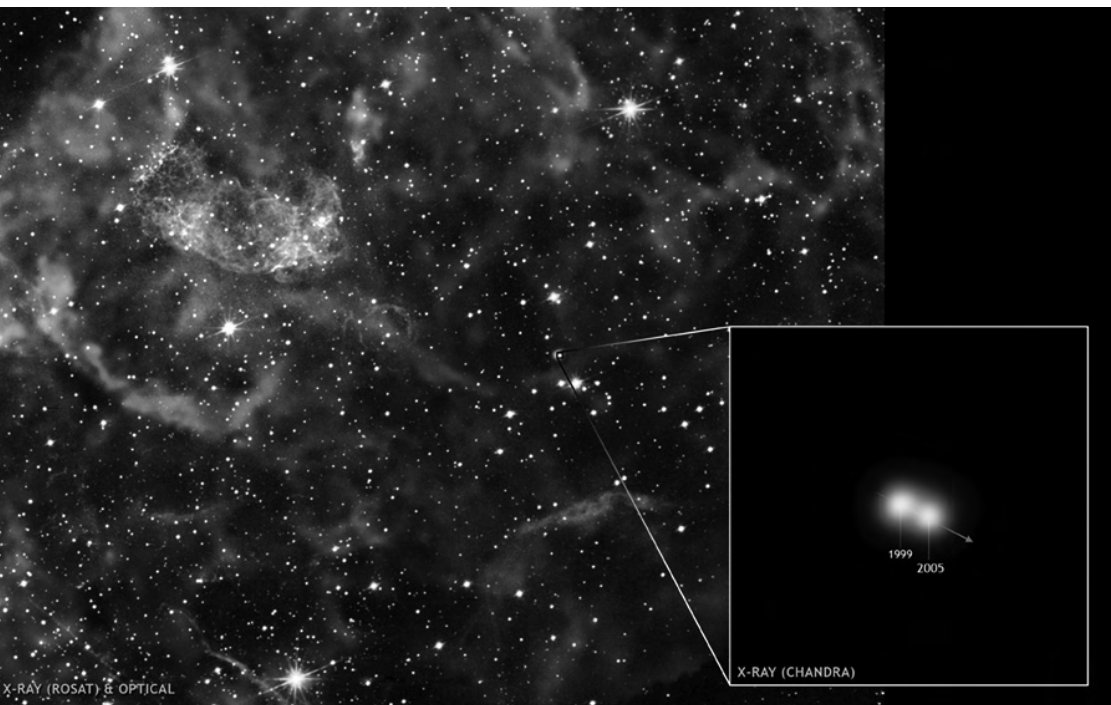
La plupart des étoiles aussi jeunes sont entourées de disques, mais ceux-ci sont généralement épais, uniformes, sans trace excavée par des planètes.

Le disque observé autour de UX Tau A est interrompu entre 0,2 et 56 années-lumière, grosso modo l'équivalent de Mercure à

Pluton. Il y a donc un gros anneau très près de l'étoile, et un autre très loin. D'autres étoiles montrent des trous centraux, mais pas d'anneau proche de l'étoile. Le scénario qui expliquait les trous était la photoévaporation. Ce mécanisme ne peut expliquer l'anneau interne, et doit être révisé.

Étoile rapide

L'observatoire spatial X Chandra a observé une étoile dotée d'une vitesse extrêmement rapide, environ cinq millions de kilomètres par heure. À ce rythme RX J0822-4300 sortira de la Galaxie en quelques millions d'années. On connaît d'autres étoiles « hypervéloces », bien qu'un peu moins rapides que celle-ci, mais la raison de leur rapidité n'est pas la même. En général ces étoiles TGV ont acquis leur vitesse en s'approchant du trou noir central supermassif de la Galaxie. Ici, il s'agit de l'étoile à neutrons produite par



La supernova Puppis A et un closeup de l'étoile hypervélocité à deux époques. Combinaison d'images X et optiques. (© NASA/CXC/Middlebury College, NASA/GSFC, NOAO/AURA/NSF)

l'explosion de la supernova Puppis A. Une asymétrie de cette explosion a propulsé l'étoile à neutrons résiduelle dans une direction et le reste des débris de l'autre. Durant les 3 700 ans qui se sont écoulés depuis l'explosion, RX J0822-4300 a déjà parcouru une vingtaine d'années-lumière.

Naines blanches

Les observations du télescope spatial Hubble indiquent qu'à leur formation les naines blanches reçoivent une impulsion due à l'asymétrie des pertes de masse. Cet effet de réaction conduit à une répartition caractéristique des naines blanches jeunes à la périphérie des amas.

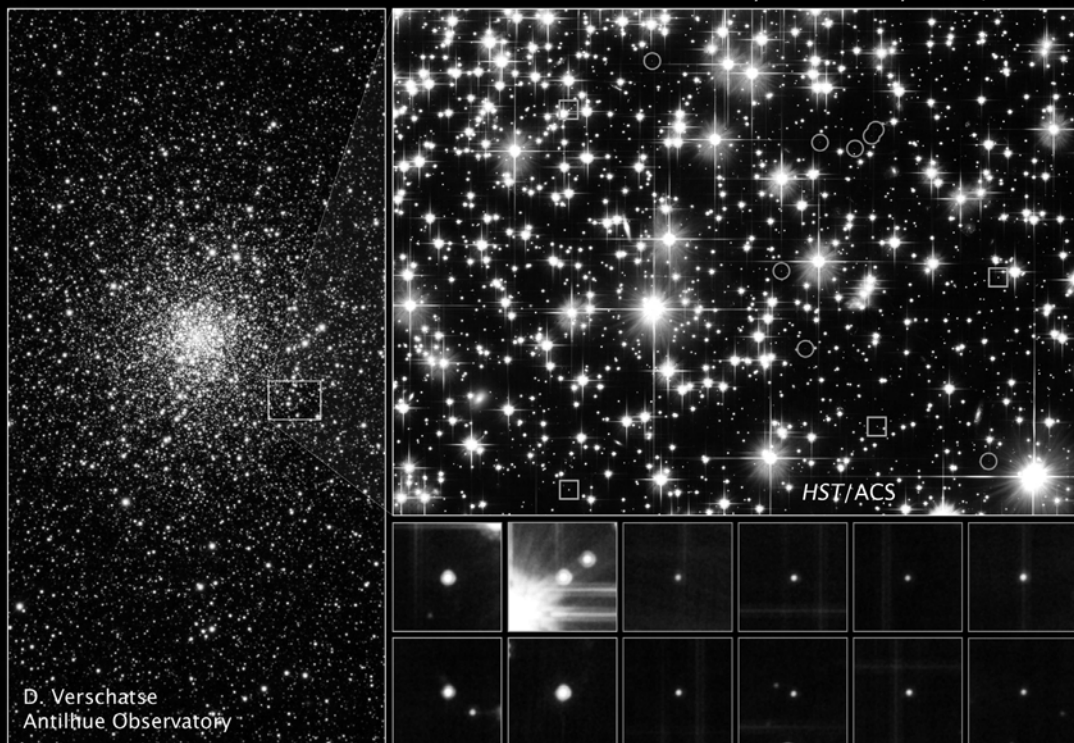
Les qualités de la caméra Advanced Camera

for Surveys du télescope spatial Hubble avaient permis la découverte de naines blanches véloces dans le vieil amas globulaire NGC 6397. Comme les naines blanches sont les cendres d'étoiles très massives, et que les étoiles massives se concentrent au cœur des amas globulaires, les astronomes s'attendaient à trouver les naines blanches nouvellement formées près du centre, or celles découvertes par Hubble sont à la périphérie. Il faut donc admettre qu'à leur naissance elles reçoivent une impulsion de plusieurs kilomètres par seconde qui les éjecte vers l'extérieur de l'amas.

Comme pour le résidu de la supernova Puppis A dont nous parlons par ailleurs, mais par un processus moins catastrophique, de la matière a été éjectée préférentiellement dans une direction et l'étoile a été accélérée dans la direction opposée.

Les nébuleuses planétaires, qui sont issues d'étoiles géantes rouges, montrent les signes d'éjections dirigées, bipolaires. Si les

White Dwarf Stars in Globular Cluster NGC 6397 ■ *Hubble Space Telescope ACS/WFC*



NASA, ESA, and H. Richer (University of British Columbia) ■ STScI-PRC07-42

Etoiles naines blanches, jeunes et vieilles, dans le vieil amas globulaire NGC 6397.

deux parties ne sont pas parfaitement équilibrées, l'étoile est poussée par le jet le plus fort dans la direction opposée.

L'étude du télescope spatial a été réalisée sur 22 naines blanches jeunes, de moins de 800 millions d'années, et de 62 plus vieilles, entre 1,4 et 3,5 milliards d'années. Leur âge est estimé à partir de l'éclat et de la couleur. Les plus jeunes sont les plus brillantes et les plus bleues.

Premières étoiles

Les premières étoiles de l'univers, celles constituant la fameuse population III, ne seraient pas de vraies étoiles mais d'énormes bulles de gaz et de matière noire des milliers, voire des centaines de milliers de fois plus grosses que le Soleil. Leur énergie serait produite par l'annihilation des WIMPs (weakly interacting massive particles) et non par la fusion nucléaire. Ces monstres ne rayonneraient que faiblement dans l'infrarouge mais produiraient des rayons gamma, des neutrinos et d'autres émissions intéressantes.

Peut-être en existe-t-il encore actuellement, invisibles à nos yeux. Il pourrait même y en avoir au sein des nuages moléculaires froids sans que l'on s'en aperçoive.

Les étoiles normales se forment par la condensation sous son propre poids d'un nuage composé essentiellement d'hydrogène. Le cœur du nuage s'échauffe fortement et devient le siège de réactions de fusion nucléaire. La contraction s'arrête lorsque les forces antagonistes ainsi produites équilibrent l'effet de la gravité.

Dans le cas des premières étoiles, les WIMPs de la matière noire associée aux nuages s'annihilent pour produire des quarks et des antiquarks et de la chaleur qui entrave la contraction. La taille peut se stabiliser à une valeur de quelques unités astronomiques.

Tout cela reste très spéculatif. On ne sait pas ce que deviennent ces étoiles. Elles pourraient avoir une vie brève, s'effondrant en trous noirs, ce qui expliquerait pourquoi les trous noirs se sont formés aussi rapidement après le Big Bang. Elles pourraient aussi se transformer en étoiles normales.

Étoile naine magnétique

TVLM513-46546, une étoile insignifiante de la constellation du Bouvier, montre une activité magnétique surprenante que l'on explique par l'interaction entre les lignes de force. En outre, la moitié de la surface de l'étoile est anormalement brillante dans la lumière H-alpha de l'hydrogène. L'étoile tournant sur elle-même en deux heures, on a affaire en quelque sorte à un phare cosmique.

Pour obtenir ces résultats, on n'a pas lésiné sur les moyens. Les astronomes ont combiné les données radio obtenues par le Very Large Array, les spectres optiques du télescope de 8 m Gemini North, les images ultraviolettes du satellite Swift et les données X de l'observatoire spatial Chandra.

La structure interne des étoiles naines, totalement soumises à la convection, pousse les astronomes à imaginer la possibilité d'un champ magnétique de structure simple, dipolaire. La complexité observée ici semble démentir cette conclusion. Mais peut-être est-ce

un cas spécial qui serait dû par exemple à la présence d'un compagnon.

H₃O⁺ extragalactique

On a découvert ce dérivé de l'eau dans les galaxies particulières M82 et Arp 220. Par leur interaction avec les champs magnétiques, de tels ions peuvent inhiber les processus de formation stellaire.

La présence de ces ions est due à l'influence des rayons X émis depuis l'environnement du trou noir central (Arp 220), ou à celle des rayons ultraviolets d'étoiles jeunes (M82). La formation stellaire peut donc se freiner elle-même en ionisant de plus en plus de molécules.

... et planètes chaudes

Ce même ion H₃O⁺ empêche l'évaporation des planètes géantes qui circulent près de leur étoile, permettant ainsi l'existence des Jupiters chauds. C'est son pouvoir refroidissant qui est alors en cause. Cet ion est cependant détruit lorsque la distance est vraiment trop petite, ce qui élimine les Jupiters imprudents.

Galaxies naines

Les simulations numériques montrent que les vents stellaires et les explosions de supernovae au cœur des galaxies naines tendent à écarter la matière noire. Des chocs se développent dans le gaz interstellaire qui est agité comme la mer par gros temps et cette agitation se répercute sur la matière noire qui tend à s'éloigner du centre. Cela expliquerait pourquoi la distribution de matière noire est assez plate et non piquée au centre des galaxies naines.

*Sur la page de couverture ci-contre : simulation numérique montrant la formation d'une galaxie naine un milliard d'années après le Big Bang. Les régions centrales sont animées de mouvements violents dus aux émissions des étoiles jeunes.
(© S. Mashchenko, J. Wadsley, H.M.P. Couchman)*